



УДК 621.039

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГОМОГЕННЫХ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕЙТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

INVESTIGATION OF PROTECTIVE PROPERTIES OF HOMOGENEOUS RADIATION-PROTECTIVE MATERIALS WITH REGARD TO NEUTRON RADIATION

Михайлова Алина Федоровна, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: tuzik.snz@gmail.com. Тел.: +7(343)375-97-37

Лукьяненко Вера Юрьевна, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vera-lukyanenko@mail.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

Ташлыков Олег Леонидович, кан-т. техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: otashlykov@list.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

Alina F. Mikhailova, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: tuzik.snz@gmail.com. Ph.: +7(343)375-97-37

Vera U. Lukyanenko, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vera-lukyanenko@mail.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Oleg L. Tashlykov, Cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: otashlykov@list.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Аннотация: В докладе представлены материалы одного из этапов комплекса расчетно-экспериментальных исследований экранирующих свойств гомогенных радиационно-защитных материалов (РЗМ) по отношению к нейтронному излучению. Приведены предварительные результаты, полученные с использованием высокоточного расчетного кода, позволяющие оценить возможность использования РЗМ в качестве защиты от нейтронного излучения различных энергий. Выполнена оценка характеристик вторичного γ -излучения, возникающего в процессе облучения защитного материала потоком нейтронов.

Abstract: The report presents the materials of one of the phases of the complex computational and experimental investigations of the shielding properties of homogeneous radiation-shielding materials in relation to neutron radiation. Preliminary results are presented obtained with the use of high-precision computer code, to assess the use of rare-earth metals as protection against different energies neutron radiation. Estimated the characteristics of the secondary gamma-radiation generated during irradiation of neutron shielding material flow.

Ключевые слова: оптимизация радиационной защиты; гомогенный радиационно защитный материал; нейтронное излучение; исследовательский ядерный реактор; гамма-спектрометрические измерения.

Key words: radiation protection optimization; homogenous radiation protective material; neutron radiation; research nuclear reactor; gamma-spectrometric measurements.

ВВЕДЕНИЕ

Вне зависимости от типа реактора, установленного на АЭС, и ее технологической схемы основными источниками излучения являются активная зона реактора, трубопроводы и оборудование контура теплоносителя, бассейны выдержки с отработавшим ядерным топливом, системы спецводоочистки, их оборудование, сама защита реактора.

Основную опасность для персонала представляют нейтронное и γ -излучение, имеющие наибольшую проникающую способность среди всех видов ионизирующих излучений. Другие виды излучения (альфа- и бета-) обычно не выходят за пределы оборудования или легко поглощаются одеждой и поверхностными слоями кожи.

Среди основных способов радиационной защиты персонала (увеличение расстояния от источника до человека, уменьшение времени пребывания в радиационных полях, снижение мощности дозы излучения от источника) важную роль играет экранирование источника ионизирующего излучения. В настоящее время использование экранов ограничено небольшим выбором материалов, часто не обладающих удобством использования, что затрудняет их установку и снятие.

Проникающая способность нейтронного излучения велика ввиду отсутствия заряда нейтрона и зависит от энергии излучения, а также состава вещества, с которым взаимодействуют нейтроны.

Защитные свойства материалов от нейтронного излучения определяются их замедляющей и поглощающей способностью, степенью активации.

Быстрые нейтроны плохо поглощаются любыми ядрами, поэтому для защиты от такого нейтронного излучения применяют комбинацию замедлитель-поглотитель. Наиболее эффективно быстрые нейтроны замедляются веществами с малым атомным номером, такими как графит и водородсодержащие вещества (легкая и тяжелая вода, пластмассы, полиэтилен, парафин).

Для эффективного поглощения тепловых нейтронов применяются материалы, имеющие большое сечение поглощения: соединения с бором (борная сталь, бораль, борный графит, карбид бора), а также кадмий и бетон (на лимонитовых и других рудах, содержащих связанную воду). Вода используется не только как замедлитель нейтронов, но и как защитный материал от нейтронного излучения вследствие высокой

плотности атомов водорода. После столкновений с атомами водорода быстрый нейтрон замедляется до тепловой энергии, а затем поглощается средой.

Бетон является основным материалом для защиты от излучений, если масса и размер защиты не ограничиваются другими условиями. Ослабление плотности потока нейтронов в бетоне зависит от содержания воды в материале защиты, которое определяется в основном типом используемого бетона. Поглощение нейтронов бетонной защитой может быть значительно увеличено введением соединения бора в состав материала защиты.

Следует отметить, что нейтронное излучение радиоизотопных источников часто сопровождается γ -излучением, возникающим в результате взаимодействия нейтронов с атомами защитного материала, а также возникновение наведенной гамма-активности в результате активации элементов защитного материала проходящим нейтронным излучением, поэтому необходимо проверять, обеспечивает ли защита от нейтронов также защиту от γ -излучения. Добиться таких защитных свойств можно введением в материал компонентов с высоким атомным номером (железо, свинец).

Специалистами кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ совместно с работниками АО «Институт реакторных материалов» с 2010 г. проводятся расчетно-экспериментальные исследования экранирующих свойств гомогенных радиационно-защитных материалов с различными наполнителями по отношению к γ -излучению. Проведенные исследования показывают хорошую сходимость расчетных данных с экспериментальными [1], [2].

Наличие в исследуемых РЗМ легких и тяжелых атомов и возможность их изготовления с требуемой концентрацией наполнителей дает основание считать, что данные материалы являются перспективными для использования их в качестве защиты от нейтронного излучения [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Моделирование химических составов и исследование экранирующих свойств радиационно-защитных материалов по отношению к нейтронному излучению проводится с использованием высокопрецизионного расчетного кода, реализующего метод Монте-Карло расчета переноса совокупности нейтронов, фотонов, электронов с непрерывной энергией в обобщенной геометрии и с зависимостью от времени. Метод Монте-Карло применяется для моделирования различных процессов, носящих

статистических характер (например, взаимодействие нейтронов, фотонов в среде) [4].

Были проведены расчеты для моноэнергетических нейтронных потоков с энергиями 0,625 эВ, 1 кэВ, 2 МэВ для различных толщин РЗМ с концентрациями наполнителей (барит, свинец, железо) от 20 до 90 % (Рис. 1, 2).

В комплексе расчетов защитных свойств РЗМ также было проведено исследование характеристик вторичного γ -излучения, возникающего в процессе облучения защитного материала потоком нейтронов.

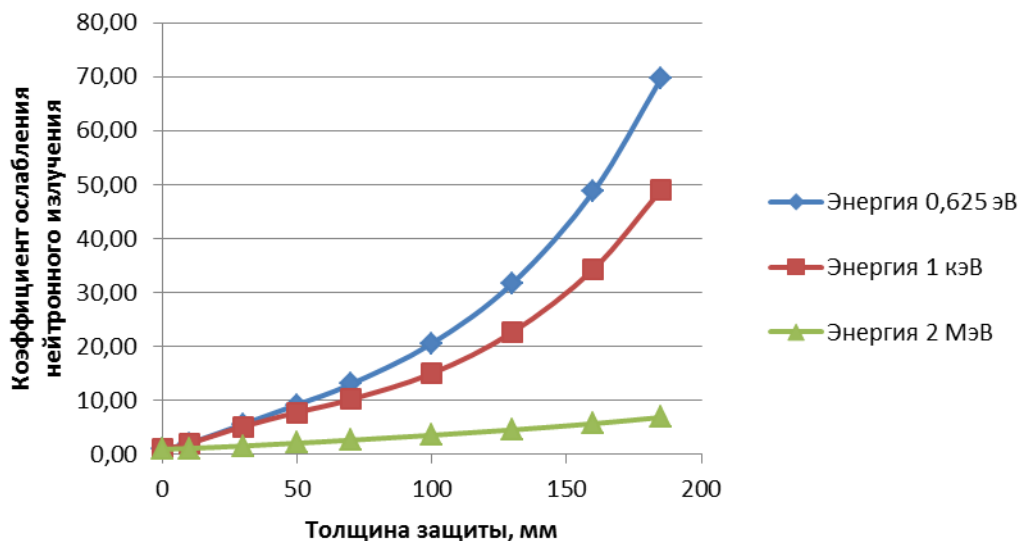


Рис. 1. Зависимость коэффициента ослабления нейтронного излучения РЗМ с баритом концентрации 50% от его толщины

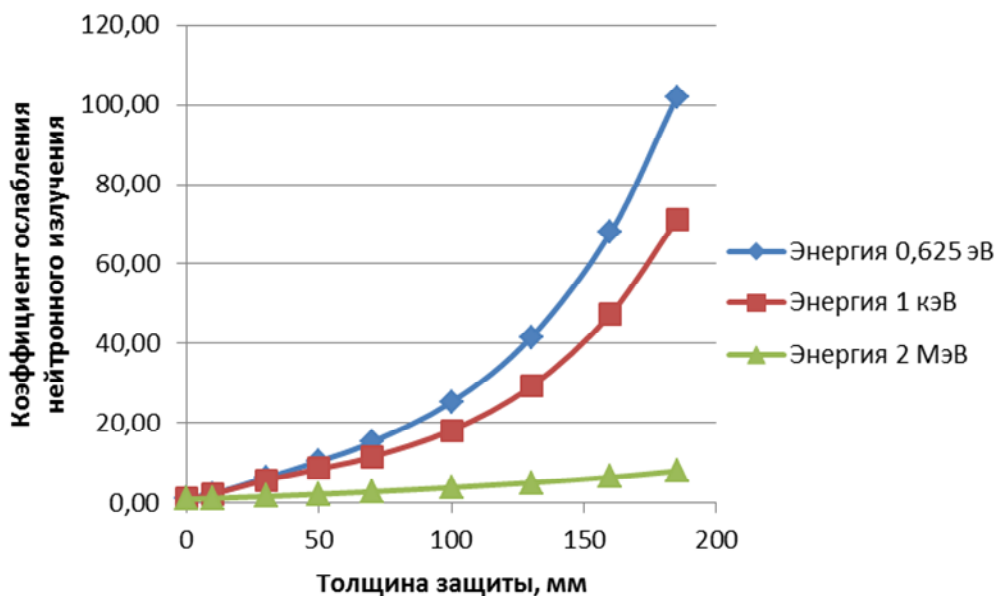


Рис. 2. Зависимость коэффициента ослабления нейтронного излучения РЗМ со свинцовым наполнителем концентрацией 50% от его толщины

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основной проблемой исследования защитных свойств гомогенных РЗМ является оценка достоверности полученных результатов расчета. Для монокомпонентных защитных материалов сверку расчетных данных можно проводить по справочной литературе, например [5]. Учитывая необходимость сочетания в РЗМ различных атомов для обеспечения достаточных защитных свойств по отношению к нейтронному излучению, верификацию расчетных данных возможно провести только путем экспериментальных исследований.

В комплексе работ по оптимизации состава гомогенных радиационно-защитных материалов специалистами АО «ИРМ» был проведен спектрометрический анализ облученных образцов РЗМ нейтронным потоком в исследовательском реакторе ИВВ-2М, цель которого заключается в определении номенклатуры продуктов активации в защитном материале под действием нейтронного излучения. Технология проведения этих исследований и их результаты приведены в материалах Конференции молодых ученых – 2016 в докладе А. В. Козлова и О. Л. Ташлыкова «Спектрометрические исследования радиационно – защитных материалов, облученных нейтронами». Результаты гамма-спектрометрического анализа позволяют оценить достоверность полученных расчетных данных по исследованию характеристик вторичного γ -излучения в результате взаимодействия нейтронов с атомами защитного материала.

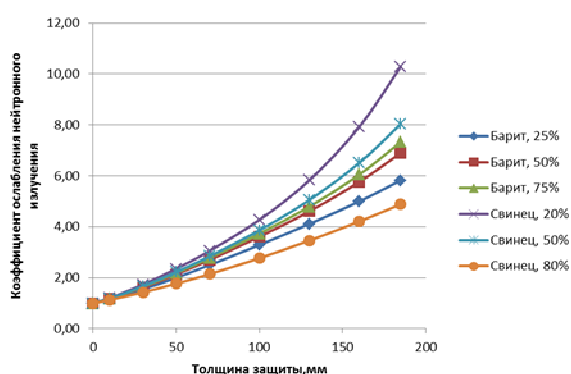


Рис. 3. Зависимость коэффициента ослабления нейтронного потока с энергией 2 МэВ в зависимости от их толщины РЗМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных расчетов подтверждают возможность использования рассматриваемых в ходе комплекса расчетно-экспериментальных исследований гомогенных радиационно-защитных материалов с различными наполнителями в качестве защиты от нейтронного излучения различных энергий [6]. Проведенные расчеты показывают необходимость выявления степени достоверности полученных данных путем проведения экспериментальных исследований ослабляющих свойств гомогенных РЗМ по отношению к нейтронному излучению в АО «ИРМ» на исследовательском реакторе ИВВ-2М.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русских И.М., Селезнев Е.Н., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Экспериментально-теоретическое исследование органометаллических радиационно-защитных материалов, адаптированных к источникам излучения со сложным изотопным составом // Ядерная физика и инжиниринг, 2014, том 5, №5, с.449-455
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Экспериментальное исследование защит от гамма-излучения органометаллических композиций // Глобальная ядерная безопасность. 2015. №2 (15). С. 49-55
3. Савченкова Г.А., Артамонова Т.А., Савченков В.П., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Перспективы использования материалов серии Абрис для радиационной защиты персонала АЭС / Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики // Сб. докладов восьмой международной научно-технической конференции 23-25 мая 2012 г. М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2012. С.504-508
4. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Лукьяненко В.Ю., Михайлова А.Ф., Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В. Оптимизация состава радиационной защиты // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика 2015. № 4. С. 36-42.
5. Машкович В. П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений: Справочник – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1995. 140 с.
6. Русских И. М., Селезнев Е.Н., Козлов А. В., Ташлыков О. Л., Щеклеин С. Е., Лукьяненко В. Ю., Михайлова А. Ф. Исследование гомогенных защит от нейтронного излучения // Сб.тез. докл. XIV Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров - 2013». Обнинск.: ИАТЭ НИЯУ МИФИ. 2015.– С. 263-266.